

Capitolo 23

I **generatori di vapore** sono apparecchiature che hanno il compito di vaporizzare il fluido operante sfruttando l'energia termica sviluppata nel processo di combustione e comprendono le diverse apparecchiature ausiliarie introdotte per migliorarne il rendimento; quella parte del generatore in cui coesistono il liquido ed il suo vapore si definiscono comunemente **caldaie**. Ciascuno di essi consta di:

- **un focolare** (o un'apposita camera) in cui avviene la combustione con produzione di fumi caldissimi;
- **un collettore cilindrico** (o una serie di tubazioni che lambite dai fumi trasformano acqua in vapore);
- **un'opportuna struttura di sostegno** che racchiude le apparecchiature suddette e impedisce la dispersione del calore all'esterno;
- **un camino** attraverso il quale i prodotti della combustione vengono espulsi all'atmosfera;
- **un complesso di organi ausiliari** (surriscaldatori,...) per migliorare il rendimento del generatore.

Premettiamo alcune definizioni:

- **pressione di bollo** o **pressione di esercizio** (p_0): pressione effettiva del vapore prodotto in normali condizioni di funzionamento del generatore;
- **potenzialità** q_{mv} : **produzione di vapore** in normali condizioni di funzionamento; è corredata dalla pressione, temperatura e titolo del vapore prodotto;
- **superficie di riscaldamento** (S_r): parte del generatore che è a contatto da una parte con i fumi caldi (o con le fiamme) e dall'altro con l'acqua;
- **indice di vaporizzazione effettivo** (i): rapporto fra la portata di vapore prodotto e di combustibile bruciato; indica la bontà del generatore;
- **potenza della camera di combustione** P_c : potenza termica ottenuta dalla combustione completa del combustibile pari a portata massica di combustibile per il suo potere calorifico inferiore ($q_{mc} \cdot P_{ci}$);
- **potenza del generatore** P_g : potenza termica ricevuta

dal fluido del generatore pari a portata di vapore per la differenza tra l'entalpia specifica del vapore prodotto e quella di alimento $q_{mv} \cdot (h_v - h_a)$;

- **potenzialità specifica** $q_{mvs} = q_{mv} / S_r$;
- **capacità specifica** V_s : rapporto fra il volume V di acqua contenuta nel generatore e S_r ;
- **vapore normale**: vapore saturo secco, prodotto a pressione atmosferica (a 100 °C) partendo da acqua alla temperatura di 0 °C; per produrre 1 kg di vapore normale occorrono 2676 kJ, perciò la potenzialità normale $q'_{mv} = q_{mv} \cdot (h_v - h_a) / 2676$ (23.1);
- **potenzialità specifica normale**: q'_{mv} / S_r ;
- **indice di vaporizzazione normale**: q'_{mv} / q_{mc} .
- **volante termico**: facoltà del generatore di sviluppare una quantità di vapore in più, in caso di un brusco abbassamento della pressione interna:
 - una caldaia con grande volante termico sopporta bene le oscillazioni di pressione senza che ne risenta il funzionamento della motrice;
 - una lesione in una caldaia con alto volante termico comporterebbe una brusca discesa della pressione al valore ambiente e la quantità di vapore che viene improvvisamente liberata è enorme e si genera un'onda esplosiva.

Il **rendimento del generatore** vale:

$$\eta_c = \frac{q_{mv} \cdot (h_v - h_a)}{q_{mc} \cdot P_{ci}} \quad (23.3)$$

dove il numeratore è la **potenza utile della caldaia** e il denominatore è la **potenza termica spesa**.

Particolare attenzione va dedicata alla valutazione dell'entalpia h_a del fluido operante se dovesse essere presente un economizzatore (capitolo 24).

I generatori di vapore sono classificabili nelle seguenti 4 tipologie.

1. Generatori a grande volume d'acqua: un esempio è la **caldaia Cornovaglia** (figura A): il cilindro mag-

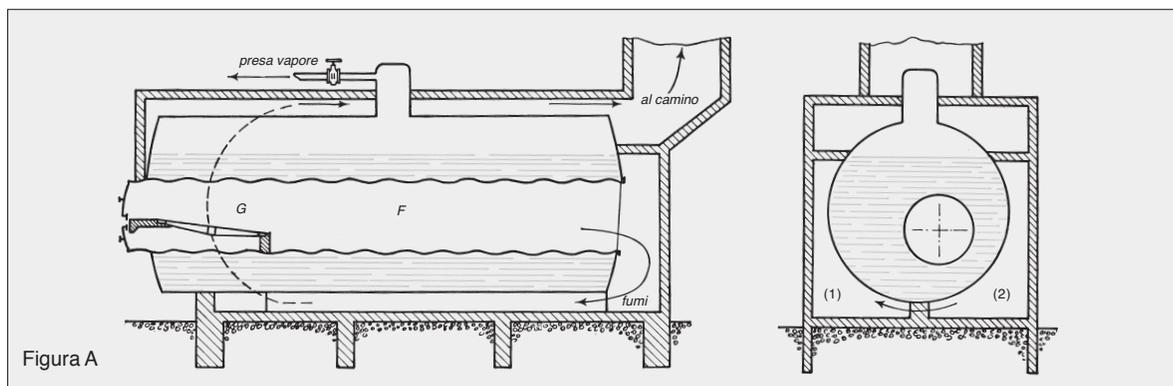
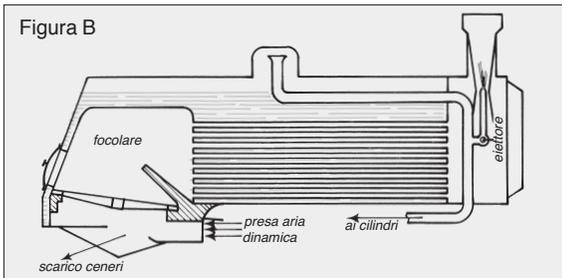


Figura A



giore è pieno parzialmente di acqua, ed il tubo focolare (F), che l'attraversa completamente, è eccentrico sia rispetto alla verticale che all'asse orizzontale, contiene nel suo interno la griglia a sbarre (G), dove il combustibile brucia producendo fumi caldissimi che percorrendo tutto il tubo fino lambire il collettore dalla parte esterna (2) comunicando così altro calore all'acqua. La posizione eccentrica serve a creare un moto di circolazione all'acqua entro il collettore. Gli inconvenienti di tale caldaia sono: pressione bassa, scarsa superficie di riscaldamento, scarsa potenzialità, notevole peso ed ingombro, lunghi periodi di preriscaldamento prima di raggiungere le condizioni di regime e pericolo di esplosioni. I pregi sono invece: grande valore del volante termico, semplicità di costruzione, di manutenzione e facilità di accesso in ogni parte del complesso.

2. Generatori a medio volume d'acqua: la pressione di esercizio è innalzata diminuendo il diametro del collettore (e quindi il suo volume); la potenzialità specifica è aumentata con una somministrazione maggiore di calore all'acqua della caldaia tramite:

- o l'aumento della velocità dei fumi;
- o l'aumento del grado di agitazione dell'acqua;
- o l'alimentazione con acqua molto pura.

Inoltre, si tende a utilizzare fino all'ultimo il calore contenuto nei prodotti della combustione, preriscaldando l'acqua di alimento e l'aria comburente. Le caratteristiche fondamentali delle caldaie a tubi di fumo sono:

- o produzione di vapore saturo o spesso surriscaldato;
- o pressione di esercizio 12 ÷ 30 bar;
- o potenzialità specifica discreta;
- o capacità specifica oscillante fra 70 e 130 L/m².

A questa categoria appartengono le seguenti caldaie:

- o **Caldaia locomobile:** rispetto alla Cornovaglia il tubo-focolare è molto più corto e termina con una piastra in cui vengono fissati numerosi tubi che percorrono tutto il corpo cilindrico che sostituiscono il grande tubo focolare per aumentare la superficie di scambio data da:

$$S_r = \pi \cdot D \cdot L + n \cdot \pi \cdot d \cdot l \quad (23.6)$$

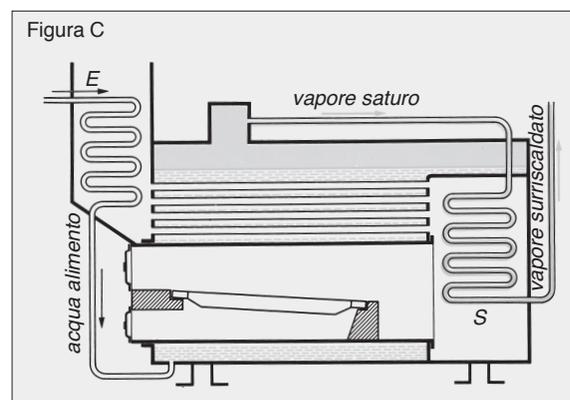
dove D è il diametro del tubo focolare, L la sua lunghezza, d il diametro dei singoli tubi di fumo, l la loro lunghezza e n il loro numero. Se il focolare

non è piano ma ondulato, si inserisce un coefficiente correttivo α .

- o **Caldaia locomotiva:** il focolare viene allargato con l'aspetto di una cassa prismatica. Scompare il cenario perché le ceneri e le scorie vengono espulse all'esterno attraverso la parte inferiore che è aperta e ciò consente di realizzare un tiraggio misto mediante una portella mobile che permette di creare una presa d'aria dinamica, mentre alle basse andature il tiraggio è assicurato da un eiettore a vapore. La variazione di forma del focolare consente grandi superfici di griglia e notevole potenzialità. Il surriscaldatore è realizzato mediante tubi di piccolo diametro piegati ad «U» ed introdotti per circa 1 m di profondità entro i tubi di fumo superiori; il vapore prelevato dal duomo perviene ad un piccolo collettore interno cui sono collegati i singoli tubi surriscaldatori, vi penetra ed infine viene raccolto in una seconda camera ed inviato ai cilindri della motrice. Economizzatore e preriscaldatore dell'aria comburente sono installati, a volte, per migliorare il rendimento.

- o **Caldaia a ritorno di fiamma** (figura C): realizza una maggior superficie di scambio e la sua forma compatta la rende adatta all'impiego in marina. I tubi focalari (in genere due) sono molto corti e terminano in una camera, ove i fumi sono ricondotti sul fronte della caldaia da dove si diparte il camino; **il livello dell'acqua dovrà in ogni caso superare di almeno 20 cm il più alto dei tubi di ritorno.** Il surriscaldatore (S) può eventualmente trovare posto nella camera dove i fumi hanno ancora una temperatura sufficientemente alta, mentre l'eventuale economizzatore (E) potrà essere installato alla base del camino sul fronte della caldaia; nel campo navale si preferisce ripartire la produzione (per motivi di continuità di esercizio) su due o più generatori (**caldaie bifronti**).

3. Generatori a piccolo volume d'acqua: le dimensioni del collettore cilindrico (e del volume d'acqua) sono ridotti per elevare la pressione in caldaia e raggiungere temperature più elevate di surriscaldamento. Vi è un collettore di dimensioni, ridotte e una serie di *tubi bollitori* entro i quali il liquido si trasforma in vapore. **I vantaggi sono:**



- maggior produzione specifica;
- pressione di esercizio più elevata;
- più alte temperature di surriscaldamento;
- rapidità di messa a regime;
- capacità specifica oscillante fra 50 e 70 L/m²;
- minori pericoli di esplosione.

Di contro, sono molto sensibili alle oscillazioni di regime, richiedono un assiduo controllo dei livelli ed alimentazione con acqua molto pura per evitare incrostazioni nell'interno dei tubi che riduce il coefficiente di trasmissione acqua-parete. Il problema di queste caldaie è la circolazione del liquido nell'interno dei tubi che ridurrebbe il coefficiente di trasmissione e disuniformità di temperatura fra le varie parti della caldaia. **Si ricorre alla circolazione naturale basata sulla differenza fra la densità del liquido e quella della miscela liquido-vapore con i tubi bollitori inclinati** (maggiore è l'inclinazione e maggiore è la circolazione). Le caldaie di questa classe sono:

- **a tubi sub-orizzontali** (Babcock e Wilcox, Niclausse ecc.) con tubi prossimi all'orizzontale;
- **a tubi sub-verticali** (Yarrow, Stirling, Tosi, Sulzer, ecc.) con tubi prossimi alla verticale.

4. Generatori a piccolissimo volume d'acqua: l'aumento della pressione in caldaia contribuisce ad incrementare il lavoro ottenuto dalla motrice e quindi il rendimento dell'impianto ma:

- **diminuisce il volume specifico del vapore e si riduce parallelamente la spinta ascensionale** che genera la circolazione della massa liquida presente in caldaia e ciò richiede una pompa;
- favorisce incrostazioni e corrosioni: è importante la depurazione dell'acqua di alimento;
- cresce lo spessore delle pareti dei collettori;
- in alcune caldaie i collettori riducono la parte vaporizzatrice ad un unico tubo piegato in forme diverse (*caldaie tubolari* tra cui le caldaie Schmidt, Benson, Sulzer, Löffler, Velox, La Mont ecc.)